

# Εργαστήριο: Μεθοδολογία Παρατήρησης Αποκρύψεων Αστέρων

**Βαγγέλης Τσάμης**

IOTA-ES, International Occultation Timing Association / European Section, <http://www.iota-es.de>

Αστρονομική Ένωση Σπάρτης, <http://www.spartastronomy.gr/astroteams>

IAU-MPC Observatory Code C68 - Αστεροσκοπείο Ελληνογερμανικής Αγωγής

e-mail: [vtsamis@aegean.gr](mailto:vtsamis@aegean.gr)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Απόκρυψη αστέρος (stellar occultation) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα ουράνιο σώμα (συνήθως αστεροειδής, TNO, πλανήτης, δορυφόρος ή η Σελήνη) διέρχεται προσωρινά μπροστά από κάποιον αστέρα, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται, μερικώς ή ολικώς, το φως του αστέρα να φθάσει στον παρατηρητή, όσο διαρκεί η επιπρόσθηση αυτή. Το φαινόμενο της απόκρυψης αντιστοιχεί σε μια γεωμετρικά σχεδόν απόλυτη ευθυγράμμιση των τριών σωμάτων (αποκρυπτόμενος αστέρας, αποκρύπτον σώμα και οπτικό όργανο του παρατηρητή).

Η παρατήρηση μιας απόκρυψης αστέρος με τον κατάλληλο εξοπλισμό και μεθοδολογία, ιδιαίτερα η καταγραφή σε CCD ή σε βίντεο, με παράλληλη χρήση αισθητήρων GPS για ακριβή αποτύπωση του χρόνου έναρξης και λήξης του φαινομένου, της διάρκειάς του και των γεωγραφικών συντεταγμένων του τόπου παρατήρησης, αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο εξαγωγής δεδομένων χρήσιμων στην αστρονομική κοινότητα, όπως η εκτίμηση του σχήματος και των διαστάσεων του αστεροειδούς, η ανακάλυψη τυχόν δορυφόρων του (Maley, 1979), ή και η ένδειξη για ύπαρξη συνοδού αστέρα (Bourgeois, 2002). Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου ένα φαινόμενο καταγράφεται από ομάδα παρατηρητών, οι διαφορετικοί χρόνοι διάρκειας σε σχέση με τη θέση κάθε παρατηρητή ως προς το μονοπάτι σκιάς ανάγονται σε διαφορετικά μήκη χορδών στο προφίλ του αστεροειδούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μοντέλου για το σχήμα και τις διαστάσεις του (Dunham, 1993). Τα στοιχεία αυτά μπορούν επιπλέον να συνδυαστούν με φωτομετρικές παρατηρήσεις (περιοδικά μεταβαλλόμενη καμπύλη φωτός, λόγω περιστροφής) και ως εκ τούτου να προκύψει μια πολύ καλή προσέγγιση για το πραγματικό σχήμα και τις διαστάσεις του αστεροειδούς (Durech, 2011).

Σήμερα οι ερασιτέχνες αστρονόμοι διαθέτουν τον εξοπλισμό, αλλά και την ευκαιρία για ελεύθερη πρόσβαση σε λογισμικό, σε δικτυακούς τόπους πηγών πληροφόρησης και σε βάσεις δεδομένων, που τους επιτρέπει να ασχοληθούν με μεγάλη αποτελεσματικότητα με τον τομέα αυτό της παρατηρησιακής αστρονομίας. Υπάρχουν κατά ηπειρους οργανισμοί, όπως πχ η IOTA, που συντονίζουν τις προσπάθειες των ερασιτεχνών αστρονόμων, συλλέγουν τα δεδομένα των παρατηρήσεών τους και προωθούν τη συνεργασία με επαγγελματίες αστρονόμους και επιστημονικά ιδρύματα (IOTA, 2007).

Στις περαιτέρω δυνατότητες των ερασιτεχνών αστρονόμων αναφέρεται και η καταγραφή αποκρύψεων αστέρων από μεταποσειδώνια αντικείμενα (TNOs), όταν είναι διαθέσιμα τηλεσκόπια σχετικά μεγάλου διαμετρήματος, πχ 40 εκ. (Sicardy, 2011). Οι παρατηρήσεις αυτές αποτελούν ένα αναντικατάστατο εργαλείο για τη μελέτη των πραγματικών διαστάσεων και του σχήματος των μακρινών αυτών σωμάτων, που μπορεί να φθάσει σε ακρίβεια της τάξης δεκάδων χλμ, ή και χλμ, ακρίβεια που είναι αδύνατον να επιτευχθεί με οποιεσδήποτε άλλες μεθόδους επίγειας παρατήρησης.

Αλλά και για τον απλό οπτικό παρατηρητή, το φαινόμενο της απόκρυψης είναι ιδιαίτερα συναρπαστικό, καθώς είναι ένα αστρονομικό φαινόμενο που εξελίσσεται πολύ γρήγορα, σε πραγματικό χρόνο. Συμβαίνει ξαφνικά, αναπάντεχα και αιφνιδιαστικά, παρ' όλη την τεχνική και ψυχολογική προετοιμασία, και έτσι απαιτείται πολύ καλή οργάνωση, τεταμένη προσοχή και γρήγορα αντανάκλαστικά για να το απολαύσουμε, να το παρατηρήσουμε και να το καταγράψουμε. Οι ερασιτέχνες αστρονόμοι μπορούν να διεξάγουν σημαντικές και χρήσιμες παρατηρήσεις, ακόμα και με dobsonian τηλεσκόπια και χρήση απλού χρονομέτρου, για την καταγραφή της διάρκειας μιας απόκρυψης αστέρος.

Στο εργαστήριο αυτό επιχειρείται να περιγραφεί η προετοιμασία, η μεθοδολογία παρατήρησης και ο εξοπλισμός που χρειάζεται κανείς για να ασχοληθεί με τις αποκρύψεις αστέρων από αστεροειδείς.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Απόκρυψη αστέρος είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα ουράνιο σώμα (συνήθως αστεροειδής, TNO, πλανήτης, δορυφόρος ή η Σελήνη) διέρχεται μπροστά από κάποιον αστέρα, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται μερικώς ή ολικώς το φως του αστέρα να φθάσει στο μάτι ή στο οπτικό όργανο του παρατηρητή.

Η παρατήρηση του φαινομένου μιας απόκρυψης με τον κατάλληλο εξοπλισμό και μεθοδολογία, ιδιαίτερα η καταγραφή σε CCD ή σε βίντεο, με παράλληλη χρήση αισθητήρων GPS για ακριβή αποτύπωση του χρόνου και των γεωγραφικών συντεταγμένων του τόπου παρατήρησης, αποτελεί μια αποτελεσματικότερη μέθοδο εξαγωγής δεδομένων χρήσιμων στην αστρονομική κοινότητα, όπως η εκτίμηση του σχήματος και των διαστάσεων του αστεροειδούς, η ανακάλυψη τυχόν δορυφόρων του αστεροειδούς ή και η ένδειξη για ύπαρξη συνοδού αστέρα.

Το φαινόμενο της απόκρυψης είναι ιδιαίτερα συναρπαστικό για τον οπτικό παρατηρητή, καθώς είναι ένα αστρονομικό φαινόμενο που εξελίσσεται πολύ γρήγορα, σε πραγματικό χρόνο. Μάλιστα είναι κοινή άποψη πολλών παρατηρητών ότι πάντα έχουμε την αίσθηση ότι συμβαίνει ξαφνικά, αναπάντεχα και αιφνιδιαστικά, παρ' όλη την τεχνική και ψυχολογική προετοιμασία, και έτσι απαιτείται πολύ καλή οργάνωση, τεταμένη προσοχή και γρήγορα αντανακλαστικά για να το απολαύσουμε, να το παρατηρήσουμε και να το καταγράψουμε.

Καθώς ο αστεροειδής διέρχεται ακριβώς μπροστά από τον αστέρα, ο οποίος θεωρείται σημειακή πηγή φωτός, το φως του αστέρα παύει να φθάνει στον παρατηρητή. Κατά το διάστημα αυτό βλέπουμε μόνο το φως του αστεροειδούς και παρατηρούμε μείωση λαμπρότητας που συνήθως αντιστοιχεί στη διαφορά της λαμπρότητας των δύο αντικείμενων. Αν ο αστεροειδής είναι ένα αμυδρό αντικείμενο, αόρατο με το τηλεσκόπιό μας, ο αστέρας φαίνεται ξαφνικά να «σβήνει τελείως» και να «ξανανάβει», ενώ αν ο αστεροειδής δεν είναι αρκετά αμυδρός παρατηρούμε μεγάλη ή μικρή μείωση της φωτεινότητας του στόχου. Η διάρκεια του φαινομένου εξαρτάται από τις διαστάσεις του αστεροειδούς και τη σχετική κίνησή του ως προς τη Γη. Το φαινόμενο συνήθως διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα, αλλά γενικά κυμαίνεται από κλάσμα του δευτερολέπτου ως και ένα περίπου λεπτό. Λόγω της γεωμετρίας του φαινομένου, των διαστάσεων και της κινηματικής των αστεροειδών, μια συγκεκριμένη απόκρυψη είναι ορατή μόνο από μια συγκεκριμένη ζώνη ή «μονοπάτι» πάνω στην επιφάνεια της Γης, πλάτους μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων χλμ, και για ένα συγκεκριμένο χρόνο, καθώς η σκιά του αστεροειδούς στο φως του αστέρα σαρώνει την επιφάνεια της Γης.

Στην εργασία αυτή επιχειρείται να περιγραφεί εν συντομία η προετοιμασία, η μεθοδολογία παρατήρησης και ο εξοπλισμός που χρειάζεται κανείς για να ασχοληθεί με τις αποκρύψεις αστερών.

## 2. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

### A. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΟΧΟΥ

Το πρώτο στάδιο είναι η επιλογή του φαινομένου που θα παρατηρήσουμε. Στο διαδίκτυο υπάρχουν ιστοσελίδες όπου τακτικά, σε μηνιαία βάση, επισημαίνονται οι προβλέψεις για συγκεκριμένα γεγονότα αποκρύψεων με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την παρατήρηση του φαινομένου.

Τέτοιες ιστοσελίδες είναι η <http://www.asteroidocculations.com/> (Steve Preston, IOTA), η <http://astrosurf.com/eaon/> (EAON), κλπ. Στις ιστοσελίδες αυτές αναφέρονται στοιχεία όπως η απεικόνιση σε χάρτη του προβλεπόμενου μονοπατιού πάνω στην επιφάνεια της Γης, η απεικόνιση σε χάρτη και οι συντεταγμένες του αστέρα, η αναμενόμενη ημερομηνία και ώρα του φαινομένου, η θέση του αστέρα στον ουρανό με βάση το γεωγραφικό ορίζοντα (αζιμούθιο και ύψωση), ο αναμενόμενος χρόνος διάρκειας, οι διαστάσεις του αστεροειδή, η θέση και η φάση της Σελήνης, κλπ. Επίσης αναφέρεται η πιθανότητα σφάλματος ως προς το ακριβές μονοπάτι και τον ακριβή χρόνο και η πιθανότητα παρατήρησης σε συνάρτηση με την απόσταση από το κέντρο του προβλεπόμενου μονοπατιού. Με όλες αυτές τις πληροφορίες μπορούμε να επιλέξουμε ένα ή περισσότερα γεγονότα με κριτήρια όπως η απόσταση από τη θέση διαμονής μας ή τη δυνατότητα μετακίνησής μας με αυτοκίνητο προς την περιοχή του μονοπατιού, η διαθεσιμότητα και η δυνατότητα παρατήρησης τη συγκεκριμένη ημέρα και ώρα του 24ώρου, η λαμπρότητα και η θέση του αστέρα σε σχέση με την ευκολία οπτικής παρατήρησής ή της καταγραφής του ανάλογα με τον εξοπλισμό μας, η μαθηματική πιθανότητα να παρατηρήσουμε το γεγονός ή να πέσουμε στο όριο σφάλματος, κλπ.

### B. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ

Η παρατήρηση ή η καταγραφή μιας συγκεκριμένης απόκρυψης αφορά τρία κυρίως στοιχεία, από τα οποία ο παρατηρητής, ανάλογα με τον εξοπλισμό, τη μεθοδολογία και την εμπειρία του, μπορεί να καταγράψει και να αναφέρει ένα ή περισσότερα:

1. Το αν παρατηρήθηκε η απόκρυψη ή όχι, από συγκεκριμένο τόπο. Τόσο η θετική, όσο και η αρνητική παρατήρηση αποτελούν πολύτιμα δεδομένα για τη μελέτη του φαινομένου.
2. Τη διάρκεια της απόκρυψης.
3. Τους ακριβείς χρόνους UT έναρξης και λήξης του φαινομένου.

Και στις 3 περιπτώσεις ο παρατηρητής θα πρέπει να αναφέρει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τις συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) του τόπου παρατήρησής.

## 3. ΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

### 3.1 Χρονομέτρηση μόνον της Διάρκειας

Η απλούστερη μορφή οπτικής παρατήρησης προϋποθέτει τουλάχιστον την αναφορά της διάρκειας του φαινομένου, στην περίπτωση που παρατηρηθεί απόκρυψη. Για το σκοπό αυτό μπορεί να γίνει χρονομέτρηση του φαινομένου με διάφορες μεθόδους:

- Με ένα χρονόμετρο ακριβείας, ή και ένα απλό αναλογικό ή ψηφιακό μέσο, όπως το χρονόμετρο στο ψηφιακό ρολόι του χεριού μας ή ακόμα και του κινητού μας. Θα πρέπει όμως ο παρατηρητής να είναι εξοικειωμένος με τη χρήση και λειτουργία τους, χωρίς να παρεμποδιστεί η σκοτοπική του όραση από τη φωτεινή οθόνη των ψηφιακών συσκευών.
- Με τη χρήση μαγνητοφώνου, αναλογικού (tape) ή ψηφιακού (digital voice recorder). Στην περίπτωση αυτή, το χρονικό σήμα έναρξης και λήξης δίδεται από τη φωνή του παρατηρητή, η οποία καταγράφεται από το μαγνητόφωνο, και αργότερα, ή την επόμενη ημέρα, κατά την απομαγνητοφώνηση χρονομετρείται η διάρκεια του γεγονότος. Μια σημαντική λεπτομέρεια είναι ότι το φωνητικό σήμα του παρατηρητή θα πρέπει να είναι μια σύντομη και κοφή μονοσύλλαβη λέξη.



Σχ 1: Αριστερά: Αναμονή για οπτική παρατήρηση απόκρυψης από τον αστεροειδή Sicilia στις 14 Αυγούστου 2006. Δεξιά: Οπτική παρατήρηση απόκρυψης από τον αστεροειδή Zelinda, στις 10 Σεπτεμβρίου 2007.

Κατά την οπτική παρατήρηση (Σχ. 1), θα πρέπει ο παρατηρητής να είναι σε πλήρη και συνεχή εγρήγορση, η προσοχή του να είναι τεταμένη και να μη χάνει από τα μάτια του για κανένα λόγο το αστέρι στόχο, διότι είναι αβέβαιο εάν η απόκρυψη θα γίνει ακριβώς στον προβλεπόμενο χρόνο. Το περιθώριο χρονικού σφάλματος της πρόβλεψης μπορεί να είναι της τάξης μερικών δευτερολέπτων. Η οπτική παρατήρηση θα πρέπει να γίνεται σε συνθήκες ηρεμίας και ησυχίας, να ξεκινήσει 2-3 λεπτά πριν την αναμενόμενη ώρα του φαινομένου και να συνεχιστεί για 2-3 λεπτά μετά την αναμενόμενη ώρα, εάν έως τότε δεν έχει παρατηρηθεί απόκρυψη.

### **3.2 Χρονομέτρηση ακριβούς ώρας UT έναρξης και λήξης του φαινομένου.**

Για τη χρονομέτρηση της ακριβούς ώρας UT έναρξης και λήξης του φαινομένου της απόκρυψης είναι απαραίτητη η χρήση αξιόπιστης βάσης χρόνου. Για να είναι αξιοποιήσιμη μια μέτρηση χρόνου και να συνδιαστεί και με παρατηρήσεις από άλλους παρατηρητές, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, χρειάζεται ακρίβεια μεγαλύτερη του 1/10 sec. Γι' αυτό θεωρούνται αναξιόπιστες οι πηγές όπως κοινά ρολόγια χειρός, η ώρα από το ρολόι υπολογιστή, ή ώρα που ανακοινώνεται τηλεφωνικά μέσω ΟΤΕ, κλπ. Η χρονική διαφορά της ώρας UT από τις πηγές αυτές, στην καλύτερη περίπτωση δε μπορεί να είναι μικρότερη από 0.5 sec, και ως εκ τούτου είναι μη αποδεκτή.

Οι πιο αξιόπιστες πηγές θεωρούνται οι συσκευές GPS και τα ραδιορολόγια, δηλ. δέκτες ραδιοφωνικών σημάτων στα βραχεία ή μακρά κύματα, από συγκεκριμένους οργανισμούς ή υπηρεσίες που διαθέτουν ατομικό ρολόι και εκπέμπουν ειδικά διαμορφωμένο ραδιοφωνικό σήμα με εξειδικευμένους πομπούς αναμετάδοσης, σε συγκεκριμένες συχνότητες, εμβέλειας μερικών εκατοντάδων ή χιλιάδων χλμ. Οι συσκευές λήψης είναι είτε κοινοί ραδιοφωνικοί δέκτες βραχέων ή μακρών κυμάτων, είτε ρολόγια με ενσωματωμένο ραδιοφωνικό δέκτη (radio controlled clocks) που αποκωδικοποιεί το σήμα του πομπού και το μεταφράζει σε ακριβή ώρα UT (Σχ. 3).

Οι κυριότεροι πομποί σημάτων ώρας είναι το WWV στην Αμερική για κοινούς ραδιοφωνικούς δέκτες στις συχνότητες 2.5, 5, 10, 15, 20 και 25 MHz, το WWVB επίσης στην Αμερική για radio controlled clocks, το JJY στην Ιαπωνία, το MSF60 στην Αγγλία, το DCF77 στη Γερμανία, το RTZ στη Ρωσία, το TDF στη Γαλλία και το HBG στην Ελβετία. Για εμάς στην Ελλάδα μπορεί να γίνει λήψη του σήματος που εκπέμπεται από το DCF77 ([http://www.ptb.de/en/org/4/44/442/dcf77\\_1\\_e.htm](http://www.ptb.de/en/org/4/44/442/dcf77_1_e.htm)). Ο πομπός βρίσκεται στο Mainflingen, 25 χλμ ΝΑ της Φρανκφούρτης. Ένα δίκτυο κεραιών εκπέμπει ραδιοφωνικό σήμα στα μακρά κύματα, στη συχνότητα 77,5 KHz. Το σήμα χρόνου παράγεται τοπικά από 3 ατομικά ρολόγια που συνδέονται με ειδικό πρωτόκολλο με το κύριο ατομικό ρολόι Καισίου στο Braunschweig.

Παράλληλα με την ακριβή καταγραφή ώρας, η ΙΟΤΑ συνιστά καταγραφή της γεωγραφικής θέσης του παρατηρητή με ακρίβεια της τάξης 30-50 μέτρων για τις περισσότερες αποκρύψεις αστερών από αστεροειδείς, ή και μεγαλύτερη, σε ειδικές περιπτώσεις.

### **3.3 Χρήση ραδιορολογιού (radio controlled clock) και χρονομέτρου**

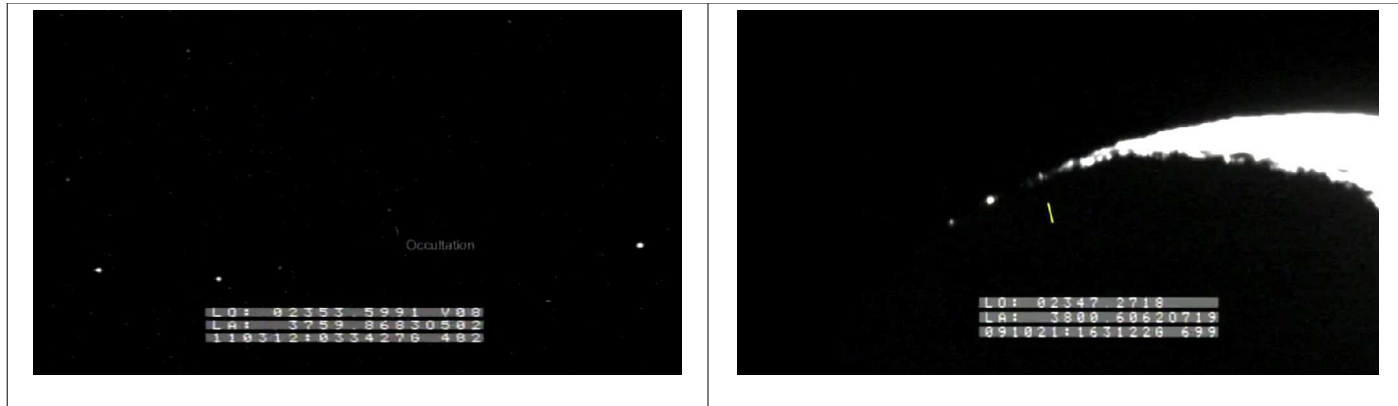
Στην περίπτωση αυτή δουλεύουμε ως εξής: Αρκετά λεπτά πριν την αναμενόμενη απόκρυψη προσπαθούμε να κάνουμε εκκίνηση στο χρονόμετρο ακριβώς ταυτόχρονα με την έναρξη κάποιου λεπτού στο ρολόι μας ή στο ραδιόφωνο, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια συγχρονισμού μπορούμε να επιτύχουμε. Ίσως χρειαστεί να προσπαθήσουμε πολλές φορές ώστε να έχουμε τον επιθυμητό συγχρονισμό. Όταν το επιτύχουμε, σημειώνουμε σε ένα χαρτί το χρόνο που άρχισε να μετράει το χρονόμετρο. Στη συνέχεια, εφόσον παρατηρήσουμε απόκρυψη, με τη βοήθεια του χρονομέτρου παίρνουμε δύο χρόνους. Προσθέτουμε τους χρόνους αυτούς στην ώρα που έγινε ο συγχρονισμός και άρχισε να μετράει το χρονόμετρο και έχουμε τους δύο χρόνους έναρξης και λήξης του φαινομένου. Σαφώς και είναι αναγκαίο το χρονόμετρο να μπορεί να καταγράφει δύο ή περισσότερους χρόνους (γύρους, lap time) με το πάτημα του ίδιου πλήκτρου κάθε φορά, για ευκολία καταγραφής.

### **3.4 Χρήση ραδιορολογιού (radio controlled clock) και μαγνητοφώνου**

Μια διαφορετική μέθοδος, όχι τόσο ακριβής όσο η προηγούμενη, αλλά αρκετά συνήθης στους οπτικούς παρατηρητές αποκρύψεων, είναι να χρησιμοποιήσουμε μαγνητόφωνο. Στην περίπτωση αυτή, ηχογραφούμε το ηχητικό σήμα του

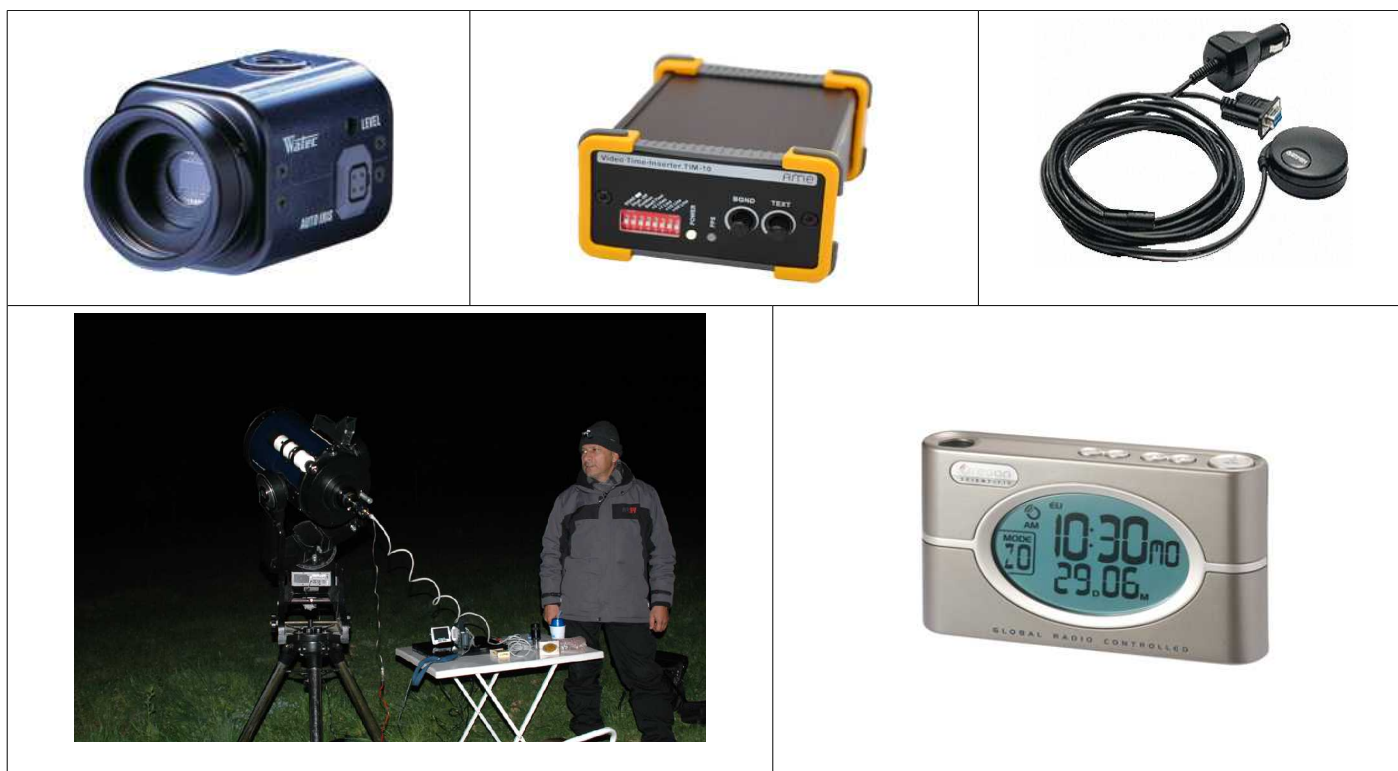
συναγερμού (alarm) του ραδιορολογιού, αφού το ρυθμίσουμε να ηχήσει στο λεπτό που αρχίζει πριν την έναρξη της απόκρυψης. Αμέσως μόλις ο παρατηρητής αντιληφθεί την απόκρυψη και την επανεμφάνιση φωνάζει ή κραυγάζει, για να σηματοδοτήσει το γεγονός. Κατά την απομαγνητοφώνηση της ηχογραφησης, μπορούμε να ψηφιοποιήσουμε τον ήχο και να χρησιμοποιήσουμε κάποιο λογισμικό για ανάλυση της κυματομορφής, ώστε επιτύχουμε αρκετά καλή ακρίβεια, γύρω στο  $\pm 0.1$  sec. Είναι σκόπιμο να επιλέξουμε ραδιορολόι που διαθέτει συναγερμό που εκπέμπει διακριτούς ηχητικούς παλμούς κάθε δευτερόλεπτο, οι οποίοι καταγράφονται και σηματοδοτούν επίσης με ακρίβεια millisecond το χρόνο που διαρκεί το φαινόμενο που καταγράφουμε.

#### 4. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΕ ΒΙΝΤΕΟ



Σχ 2: Χρήση βίντεο 25 fps με αποτύπωση χρόνου GPS και LAT – LON σε κάθε καρτέ.

Η σύγχρονη τάση στους ερασιτέχνες αστρονόμους που ασχολούνται με τις αποκρύψεις είναι η καταγραφή του φαινομένου σε βίντεο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται υπερευαίσθητες κάμερες CCD, συνήθως ασπρόμαυρες, οι οποίες όμως στέλνουν στην έξοδο αναλογικό σήμα βίντεο. Οι κάμερες αυτές είναι κάμερες τύπου CCTV (Closed Circuit Television, surveillance, security cameras) που είναι ιδανικές για την καταγραφή αποκρύψεων αστερών αλλά και μετεώρων, καθώς η υπερευαίσθητη ευαισθησία τους επιτρέπει την καταγραφή αμυδρών αντικειμένων με πολύ υψηλό ρυθμό καρτέ το δευτερόλεπτο. Η τυπική ευαισθησία κυμαίνεται από 0.001 lux έως 0.0001 lux στο f/1.4 και το τυπικό frame rate είναι 50 fps στο σύστημα PAL και 60 fps στο NTSC. Οι πιο γνωστές κάμερες στο χώρο είναι η κορεατικής προέλευσης PC164C, η σειρά Mintron με κυριότερη την 12V1 EX από την Ταιβάν και οι ιαπωνικές κάμερες της WATEC, με κορυφαία μοντέλλα την 120N+ και τη σειρά 902 H2/H3 Supreme και Ultimate.



Σχ 3: Πάνω Αριστερά: Η κάμερα WATEC 902 H2 Ultimate. Πάνω Κέντρο: η συσκευή εισαγωγής χρόνου TIM-10 AME GPS Video Time Inserter. Πάνω Δεξιά: η μονάδα GPS Garmin OEM-18. Κάτω αριστερά: παρατήρηση απόκρυψης με video/GPS στο ύπαιθρο. Κάτω Δεξιά: Ραδιορολόι RMB899P της Oregon Scientific.

Η κάμερα που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε για τις παρατηρήσεις μας είναι η WATEC 902 H2 Ultimate στην έκδοση PAL (σχ 3). Πρόκειται για μια μονόχρωμη κάμερα υψηλής ανάλυσης και υπέρ υψηλής ευαισθησίας, κοντά στο επίπεδο των υπερύθρων (IR). Το 1/2" ICX-249AL EXviewCCD της Sony που διαθέτει, έχει ευαισθησία 0.0001 lux στο f/1.4, με αριθμό ενεργών εικονοστοιχείων (pixels) 795 X 596 και παράγει αναλογικό σήμα 570 TV Lines, με ταχύτητα διαφράγματος που ρυθμίζεται αυτόματα ή χειροκίνητα, λόγω σήματος προς θορυβο >50 db, και επιτρέπει τόσο τον αυτόματο, όσο και το χειροκίνητο έλεγχο (Automatic και Manual Gain Control). Τροφοδοτείται από 12V DC και έχει βάρος μόλις 98 γραμμάρια. Το αναλογικό σήμα βίντεο εγγράφεται είτε σε τυπικό VCR recorder, είτε σε φορητή camcorder που έχει είσοδο αναλογικού VIDEO IN, είτε ακόμα σε ψηφιακό μέσο καταγραφής (πχ MPEG recorder) με αναλογικό VIDEO IN.

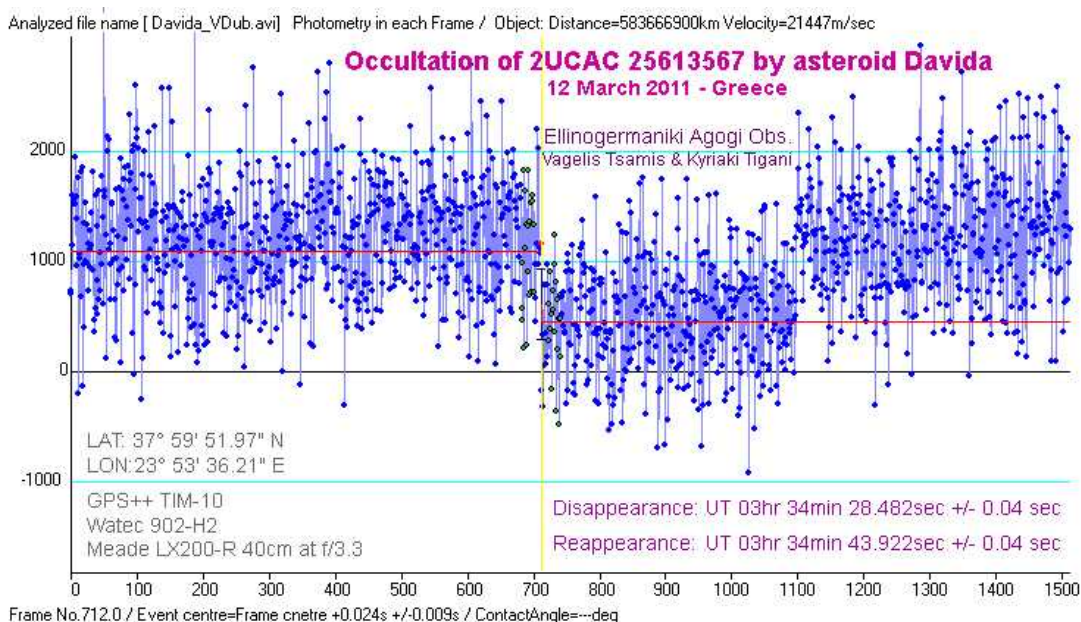
#### 4.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΧΡΟΝΟΥ - VIDEO TIME INSERTERS

Μια πολύ σημαντική καινοτομία, ευρέως διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια, είναι η χρήση των Video Time Inserters, ηλεκτρονικών συσκευών που εισάγουν στην εικόνα του αναλογικού βίντεο μια στάμπα χρόνου, με μία γραμμή στην οθόνη όπου απεικονίζεται η ημερομηνία και ο χρόνος (ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα, χιλιοστά του δευτερολέπτου σε UT. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σύνδεσή τους είτε με συσκευή GPS, είτε με κάποια ειδική συσκευή με ενσωματωμένο ραδιοφωνικό δέκτη (radio controlled clock) που συγχρονίζεται με κάποιο ατομικό ρολόι. Για τη χώρα μας τέτοια λήψη είναι δυνατή από το ατομικό ρολόι DCF-77 της Φρανκφούρτης. Το Video Time Inserter παρεμβάλλεται μεταξύ της κάμερας και του μέσου καταγραφής βίντεο, ή της οθόνης.

Στις παρατηρήσεις μας χρησιμοποιούμε το TIM-10 GPS Time-Inserter της AME καθώς έχει τη δυνατότητα να εισαγάγει πέραν του ακριβούς χρόνου UT και δύο επιπλέον γραμμές στην οθόνη όπου προβάλλονται οι ακριβείς συντεταγμένες του τόπου παρατήρησης (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), στην έκδοση GPS. <http://www.ame-engineering.de/produkte/gps/gps.html>). Η συσκευή GPS με την οποία συνδέεται είναι η Garmin GPS18LVC OEM Sensor Με το συνδυασμό της υπερευαίσθητης κάμερας και της συσκευής εισαγωγής χρόνου έχουμε ως αποτέλεσμα ένα απόσπασμα βίντεο όπου καταγράφεται το φαινόμενο της απόκρυψης με ακριβέστατα στοιχεία χρόνου UT και γεωγραφικών συντεταγμένων παρατήρησης, και έτσι είναι δυνατόν να γίνουν καταγραφές και μετρήσεις με πολύ μεγάλη ακρίβεια (σχ 2 & 3).

#### 4.2. ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΒΙΝΤΕΟ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΦΩΤΟΣ

Υπάρχουν εξειδικευμένα λογισμικά φωτομετρικής επεξεργασίας του ψηφιακού video AVI μιας απόκρυψης, όπως το LiMonie, το Tangra, κλπ. Επιλέξαμε να χρησιμοποιούμε το πρώτο, το οποίο διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο και προσφέρει πολλά λειτουργικά εργαλεία για ανάλυση των δεδομένων και παραγωγή καμπύλης φωτός. Μεταξύ άλλων μπορεί να κάνει φωτομετρία σε όλα τα καρέ ή σε όσα επιλέγει ο χρήστης, δίνει τη δυνατότητα να ορίσουμε τη διάμετρο (σε pixels) των κύκλων και δακτυλίων φωτομέτρησης, επιτρέπει τη χρήση μέχρι και τριών φωτεινών πηγών συγκρίσεως και ελέγχου, και τέλος προσφέρει τη δυνατότητα να εξαγάγουμε τους πίνακες με τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε μορφή .CSV για περαιτέρω επεξεργασία με προγράμματα όπως το Excel. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε πχ μέσω του Excel τους μέσους όρους των τιμών pixel για τη λαμπρότητα του στόχου και έτσι να εκτιμήσουμε την πτώση μεγέθους του στοχου (magnitude drop).



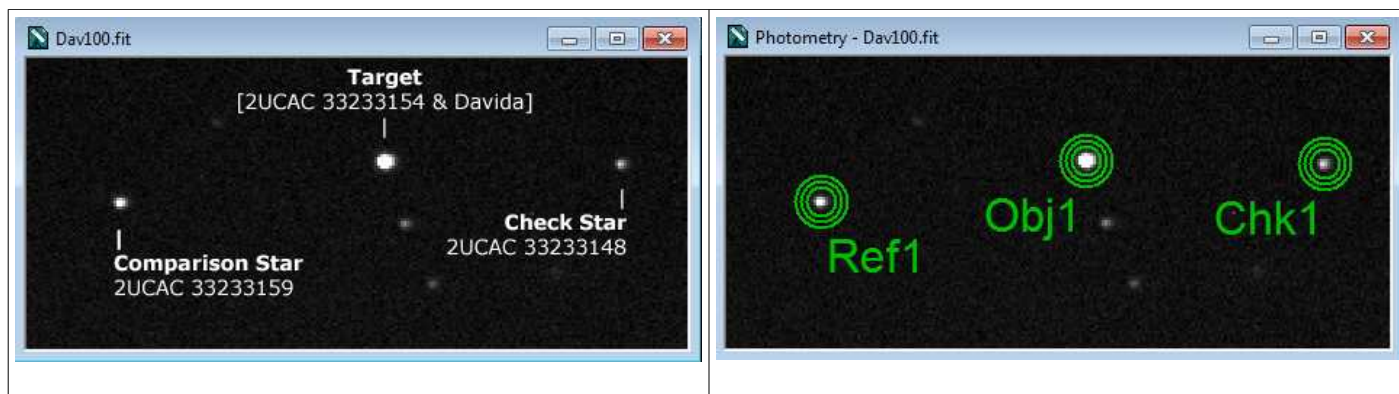
Σχ 4: Καμπύλη φωτός με το πρόγραμμα LiMonie, από το βίντεο (AVI) της απόκρυψης του αστέρα 2UCAC\_25613567 από τον αστεροειδή Davida, στις 12 Μαρτίου 2011.

Στην καμπύλη φωτός που παράγει το LiMonie μπορούμε να προσδιορίσουμε τα συγκεκριμένα καρέ του βίντεο στα οποία έχουμε απόκρυψη ή επανεμφάνιση, και με την επισκόπηση του χρόνου UT που έχει αποτυπωθεί στα καρέ αυτά μέσω του GPS Time Inserter, να εκτιμήσουμε τους χρόνους απόκρυψης και επανεμφάνισης με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια, που συνήθως κυμαίνεται στα 0.04 – 0.08 δευτερόλεπτα. Παράδειγμα καμπύλης φωτός από το LiMonie, ανάλυσης δεδομένων και εξαγωγής χρόνων, παρουσιάζεται στο σχήμα 4. Η παρατήρηση έγινε από το αστεροσκοπείο της Ελληνογερμανικής Αγωγής, με το τηλεσκόπιο 40 εκ., βιντεοάμερα Wattec 902 H2 Ultimate, και συσκευή GPS Video Time Inserter Tim-10. Στο κάτω μέρος της εικόνας αναγράφονται οι εξεχθέντες χρόνοι έναρξης και λήξης του φαινομένου: Απόκρυψη: UT 03:34:28.482 +/- 0.04 sec, Επανεμφάνιση: UT 03:34:43.922 +/- 0.04 sec.

## 5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΕ CCD

Η καταγραφή με βίντεο/GPS είναι ιδανική μέθοδος καταγραφής για τις περισσότερες περιπτώσεις παρατήρησης αποκρύψεων, καθώς είναι αναντικατάστατη η δυνατότητα αποτύπωσης του φαινομένου με πολύ καλό time resolution, στα 25 fps. Έτσι προσδιορίζονται με πολύ καλή ακρίβεια οι χρόνοι. Σε περιπτώσεις όμως όπου είτε ο στόχος είναι πολύ αμυδρός για να καταγραφεί σε βίντεο (για το δεδομένο τηλεσκόπιο που έχουμε), είτε η πτώση μεγέθους είναι πολύ μικρή για να προσδιοριστεί σαφώς με χρήση του εύρους τιμών 0-255 στα 8bits του βίντεο, τότε μπορεί κανείς να επιλέξει να κάνει καταγραφή με CCD, καθώς και το εύρος τιμών των φωτομετρικών σημείων είναι πολύ μεγαλύτερο (0-65.535 στα 16 bit), αλλά και η μεγαλύτερη ευαισθησία και η δυνατότητα χρήσης μεγαλύτερων χρόνων έκθεσης, επιτρέπει την καταγραφή πολύ αμυδρότερων στόχων απ' ό,τι το βίντεο (Σχ. 5).

Η καταγραφή αποσκοπεί στην λήψη διαδοχικών απεικονίσεων του στόχου ώστε από τη μελέτη των φωτομετρικών σημείων με διαφορεική φωτομετρία, να εξαχθεί καμπύλη φωτός που να αναδुकνύει τη μείωση λαμπρότητας λόγω απόκρυψης, με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι μετρήσιμη η διάρκεια και οι χρόνοι έναρξης και λήξης του φαινομένου, αλλά και το ακριβές ποσοστό μείωσης της λαμπρότητας του στόχου (Σχ. 6 & 8). Υπάρχουν τρεις κυρίως μέθοδοι καταγραφής απόκρυψης με CCD:

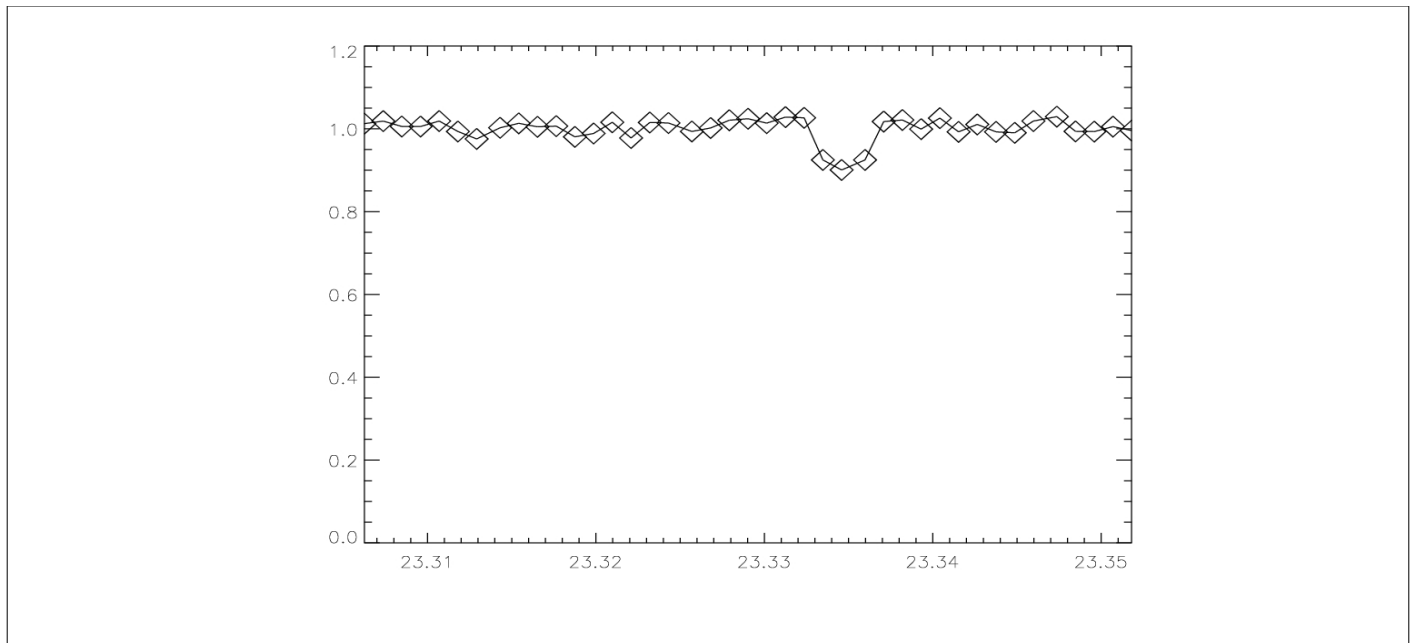


Σχ 5: Καταγραφή με CCD της απόκρυψης αστέρα από τον αστεροειδή Davida στις 7 Μαΐου 2010, με τη μέθοδο 1 (βλ. κείμενο). Αριστερά: Επιλογή αστέρων συγκρίσεως και ελέγχου. Δεξιά: Φωτομετρική επεξεργασία στοχων διαφορικής φωτομετρίας, με το πρόγραμμα MaximDL.

### CCD Μέθοδος 1: Πολλαπλές λήψεις.

Επιδιώκουμε να κάνουμε λήψη όσο το δυνατόν περισσότερων φωτομετρικών σημείων, και οπωσδήποτε τουλάχιστον τριών (τρεις ή περισσότερες λήψεις μέσα στην απόκρυψη). Για την ασφαλέστερη επιτυχία της μεθόδου χρειάζεται είτε μεγάλο τηλεσκόπιο, είτε CCD με δυνατότητα αρκούντως γοργού ρυθμού λήσεων. Στα σχήματα 5 και 6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα θετικής καταγραφής απόκρυψης με τη μέθοδο αυτή. Πρόκειται για την απόκρυψη του αστέρα 2UCAC\_33233154 (13.2 mag) από τον αστεροειδή Davida (11.5 mag) στις 7 Μαΐου 2010. Ο φωτομετρικός στόχος (συναυγασμός του φωτός του αστέρα και του αστεροειδούς) είχε φαινόμενη λαμπρότητα 11.3 mag και η αναμενόμενη μείωση λαμπρότητας λόγω απόκρυψης ήταν μόλις 0.2 mag. Η αναμενόμενη μέγιστη διάρκεια ήταν 21.9 sec. Στο σχήμα 5 απεικονίζονται φάσεις της φωτομετρικής επεξεργασίας των στοχων για τη διαφορική φωτομετρία, με το πρόγραμμα MaximDL. Στο σχήμα 6 δίδεται η εξαχθείσα καμπύλη φωτός της απόκρυψης. Παρατηρηθείσα διάρκεια: 13 +/- 1 sec.

Στρατηγική: α. Ανάλογα με την αναμενόμενη διάρκεια της απόκρυψης θα πρέπει να έχουμε κύκλο 2 ή 2.5 ή το πολύ 3 sec (χρόνος έκθεσης + χρόνος readout του CCD) β. Διαλέγουμε μεγάλο binning mode με το ελάχιστο readout time: πχ 1 sec σε binning mode 2 ή ακόμα και 3 ή 4. γ. Βοηθάει πολύ η CCD μας να έχει δυνατότητα να κάνει λήψεις σε τμήμα του frame, σε "παραθυράκι", όπως πχ η ATIK-16HR δ. Ξεκινάμε αυτόματες λήψεις κατά ριπάς, από 1.5-2 λεπτά πριν, μέχρι και 1.5-2 λεπτά μετά. ε. Κάνουμε λήψη, bias, darks και flats.



Σχ 6: Καταγραφή με CCD της απόκρυψης αστέρα από τον αστεροειδή Davida στις 7 Μαΐου 2010. Καμπύλη φωτός της απόκρυψης μετά από επεξεργασία των φωτομετρικών σημείων με το πρόγραμμα IDL (Ανάλυση: Απόστολος Χρήστου)

### CCD Μέθοδος 2: Μιας λήψης.

Επιδιώκουμε να κάνουμε μία λήψη CCD, στην οποία να εμπεριέχεται η απόκρυψη. Παίρνουμε επίσης άλλες δύο ή τέσσερις ισόχρονες λήψεις, μία ή δύο πριν και μία ή δύο μετά το φαινόμενο, ώστε οι τρεις ή οι πέντε αυτές λήψεις να συγκριθούν φωτομετρικά για να μελετηθεί η αναζητούμενη πτώση λαμπρότητας του στόχου. Στρατηγική: α. Ο χρόνος έκθεσης  $T_{exp}$  πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το άθροισμα: χρόνος της απόκρυψης + 2 φορές επί την αβεβαιότητα χρόνου έναρξης στο 1 σίγμα (1 sigma uncertainty interval)

β. Πρέπει να τηρηθεί και εδώ ο χρυσός κανόνας ότι οι τιμές ADU και για τον αστέρα-στόχο αλλά και για τουλάχιστον ακόμα έναν αστέρα του πεδίου, ο οποίος θα αποτελέσει τον αστέρα συγκρίσεως ή/και ελέγχου, δε θα πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή 20.000 – 30.000 ADUs. Για να επιτύχουμε λοιπόν τέτοιες τιμές ADU στους αστέρες του πεδίου, μπορούμε να πειραματιστούμε με τις εξής τρεις παραμέτρους:

1. binning mode, 2. χρήση φωτομετρικού (ιδανικά) ή άλλου φίλτρου εάν ο αστέρας είναι σχετικά λαμπρός. Ίσως βοηθήσει το R, και πάντως πολύ περισσότερο φως θα κόψει το I-υπέρυθρο) 3. Παίζουμε λίγο με το  $T_{exp}$

Εκτέλεση: α. Σχεδιάζουμε να συμπέσει το χρονικό κέντρο του FIT της απόκρυψης με την ώρα της αναμενόμενης απόκρυψης. Υπολογίζουμε πότε πρέπει να ξεκινήσουμε τη λήψη του FIT της απόκρυψης.

β. Έχουμε πάρει αρκετά fits PIN και στη συνέχεια παίρνουμε αρκετά fits META τη λήψη του κεντρικού FIT της απόκρυψης. γ. Κάνουμε λήψη, bias, darks και flats.

### CCD Μέθοδος 3: Drift-SCAN (Αστροϊχνη).

Η τρίτη αυτή μέθοδος θεωρείται άριστη μέθοδος καταγραφής αποκρύψεων αστερών. Με τη μέθοδο αυτή σταματάμε τη λειτουργία του αστροστάτη στο τηλεσκόπιό μας λίγα δευτερόλεπτα πριν γίνει η απόκρυψη, ενώ παράλληλα κάνουμε μακρά έκθεση με το CCD. Τα αστέρια του πεδίου διαγράφουν αστροϊχνη, και εάν έχουμε απόκρυψη, το φωτεινό ίχνος του αστέρα-στόχου ή θα διακόπτεται ή ένα τμήμα του θα παρουσιάζεται αμυδρότερο, ανάλογα με το ποσοστό μείωσης του φωτός του στόχου – διότι καταγράφεται πλέον μόνον το φώς από τον αστεροειδή (Σχ. 7).



Σχ 7: Μέθοδος Drift-Scan. Πηγή: <http://www.asteroidoccultation.com/observations/DriftScan/Index.htm>

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή να εξασφαλίσουμε ότι ο αστέρας-στόχος δε θα βγεί εκτός πεδίου λήψης του CCD. Το μήκος των ιχνών σε pixels ανάγεται σε χρόνο απόκρυψης. Το δυνατό της σημείο της μεθόδου αυτής είναι η πολύ μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό της διάρκειας της απόκρυψης, με χρήση προγραμμάτων όπως το MaximDL. Η μέθοδος περιγράφεται αναλυτικά στο άρθρο του John Broughton "Drift-scan timing of asteroid occultations".

<http://www.asteroidoccultation.com/observations/DriftScan/Index.htm>



Σχ 8: Διεξαγωγή CCD παρατήρησης αμοιβαίας απόκρυψης μεταξύ δορυφόρων του πλανήτη Δία, στο αστροσκοπείο της Ελληνογερμανικής Αγωγής, στην Παλλήνη.

## 6. ΥΠΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

Σήμερα υπάρχουν διεθνείς οργανισμοί ερασιτεχνών αστρονόμων όπως η IOTA (International Occultation Timing Association), η EAON (European Asteroid Occultation Network) η Euraster.Net, που ενθαρρύνουν την παρατήρηση και καταγραφή αποκρύψεων από ερασιτέχνες αστρονόμους, συλλέγουν στοιχεία παρατηρήσεων, επεξεργάζονται τα στοιχεία αυτά και είτε εξάγουν επιστημονικά συμπεράσματα, είτε τα προωθούν σε επαγγελματίες αστρονόμους για περαιτέρω επεξεργασία. Επίσης, σε πολλούς συλλόγους ερασιτεχνών αστρονόμων υπάρχουν τομείς δραστηριοτήτων που ειδικεύονται στις αποκρύψεις, όπως στη RASNZ (Royal Astronomical Association of New Zealand), BAA (British Astronomical Association), CAS (Czech Astronomical Society) κ.α.

Για τους ευρωπαϊκούς παρατηρητές αρμόδιος φορέας συλλογής στοιχείων παρατήρησης είναι η IOTA-ES, σε συνεργασία με την EAON. Το ηλεκτρονικό έντυπο της φόρμας παρατήρησης μπορεί να βρει κανείς στη διεύθυνση: <http://www.euraster.net/results/report-form.txt>

και παραδείγματα υποβολής εδώ: <http://www.euraster.net/results/example1.txt>

και <http://www.euraster.net/results/example2.txt>

## 7. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ

Καθώς η παρατήρηση μιας απόκρυψης είναι ένα “ραντεβού” με το χρόνο σε συγκεκριμένη θέση, πολλές φορές χρειάζεται να ταξιδέψει κανείς σε γνωστή ή και άγνωστη τοποθεσία και να στήσει σύνθετο εξοπλισμό. Με καλή και συστηματική προετοιμασία, μπορεί κανείς να εξασφαλίσει τουλάχιστον ότι δε θα αντιμετωπίσει τεχνικά προβλήματα της τελευταίας στιγμής. Ενδεικτικά δίδονται κάποια βήματα προετοιμασίας που θα πρέπει να ακολουθούμε αρκετές ημέρες πριν, έως και τα τελευταία λεπτά πριν το γεγονός.

(Occ = Occultation):

- Occ -7 ως Occ -1 ημέρες: Ελέγχουμε στις σχετικές ιστοσελίδες πρόγνωσης εάν υπάρχει κάποια τροποποίηση της πρόβλεψης, ή ενημέρωση με νέα στοιχεία, για το γεγονός που μας ενδιαφέρει.
- Occ -7 ως Occ -1 ημέρες: Εντοπίζουμε το αστέρι και απομνημονεύουμε το αστρικό πεδίο (απαραίτητο να γίνει λίγες βραδιές νωρίτερα, όχι την τελευταία στιγμή)
- Occ -7 ως Occ -1 ημέρες: Ελέγχουμε το σύνολο του εξοπλισμού μας για να βεβαιωθούμε ότι όλα είναι σε καλή κατάσταση και λειτουργούν άψογα. Ιδιαίτερη προσοχή στις μπαταρίες, καλώδια, ταινίες εγγραφής ήχου και εικόνας, κλπ για να μην λείπει τίποτα.
- Occ -1 ημέρα: Ελέγχουμε σε ένα χάρτη της περιοχής πιθανή θέση παρατήρησης σε σχέση με το μονοπάτι της σκιάς, και αν είναι δυνατόν, να βρεθούμε στο σημείο την προηγούμενη, τουλάχιστον βραδιά. Η περιοχή πρέπει να έχει ελεύθερο ορίζοντα εκεί όπου θα βρίσκεται ο αστέρας την ώρα της απόκρυψης.
- Occ -2 ώρες: Πρέπει να έχουμε στήσει το τηλεσκόπιό μας. Κάνουμε πολική ευθυγράμμιση και ελέγχουμε ότι τα μοτέρ δουλεύουν κανονικά. Λαμβάνουμε μέτρα για την πιθανότητα η υγρασία να θολώσει τα οπτικά μας:



χρησιμοποιούμε προέκταση σωλήνα ή κολάρο με θερμαινόμενη αντίσταση (dew zapper). Εξετάζουμε αν λειτουργεί κανονικά η συσκευή καταγραφής ή μέτρησης χρόνου, GPS ή DFF77 ή χρονόμετρο. Πρέπει να έχουμε μαζί μας φακό ερυθρού φωτός, τους χάρτες που θα χρησιμοποιήσουμε, γεμάτες μπαταρίες, ή βιντεοκασέτα ή κασέτα ήχου να είναι στην έναρξη της ταινίας.

- Occ -30 λεπτά: Εντοπίζουμε με το τηλεσκοπίο μας το αστέρι-στόχο και το κεντράρουμε στο πεδίο του προσοφθάλμιου φακού με τον οποίο θα κάνουμε οπτική παρατήρηση, ή στην οθόνη του υπολογιστή ή στο TV-monitor, αν κάνουμε εγγραφή βίντεο σε ψηφιακό ή αναλογικό μέσο αντίστοιχα.. Καθόμαστε όσο μπορούμε σε πιο άνετη και αναπαυτική θέση για την παρατήρηση.
- Occ -20 λεπτά: Ελέγχουμε την ποιότητα εγγραφής της φωνής μας και των σημάτων ήχου στο μέσο καταγραφής. Πρέπει να ακούγεται εύηχα και καθαρά το ηχητικό σήμα.
- Occ -2 λεπτά: Αρχίζουμε την οπτική παρατήρηση με τεταμένη την προσοχή μας και σε πλήρη εγρήγορση. Εναλλακτικά, αν καταγράφουμε βίντεο, αρχίζουμε την εγγραφή εικόνας και ήχου.
- Occ +2 λεπτά: Τέλος οπτικής παρατήρησης. Τέλος εγγραφής βίντεο και ήχου.
- Occ +1 ημέρα: Εντός 24 ωρών πρέπει να αναφερούμε θετικό ή αρνητικό αποτέλεσμα στο συντονιστή παρατηρήσεων της τοπικής μας ομάδας ή στην EAON, IOTA ή Euraster.
- Occ +3 ημέρες: Στέλνουμε συμπληρωμένη την ειδική φόρμα παρατήρησης με e-mail.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

- Buttner, D, "Some Hints for Timing Occultations", Occultation Newsletter, Vol. 3, No.2, Dec. 1982.
- Bourgeois, J., "The Detection of Close Stars by Occultations", Occultation Newsletter, Vol. 8, No. 3, Jan. 2002.
- Dunham, D., "Comments on Organizing Expeditions", Occultation Newsletter, Vol. 6, No. 11, March 1993.
- Đurech, J. et al, "Combining asteroid models derived by lightcurve inversion with asteroidal occultation silhouettes", Icarus, In Press, Accepted Manuscript, March 2011, doi:10.1016/j.icarus.2011.03.016
- IOTA: "Chasing the Shadow" The IOTA Occultation Observer's Manual, The Complete Guide to Observing Lunar, Grazing and Asteroid Occultations, <http://www.poyntsource.com/IOTAMannual/>, 2007.
- Maley, P.D. "Exploring for Satellites of Minor Planets", Journal of the British Astronomical Association, 90, 1, 1979, pp.30-35.
- Miyashita, K., LiMovie, [http://www005.upp.so-net.ne.jp:80/k\\_miyash/occ02/limovie\\_en.html](http://www005.upp.so-net.ne.jp:80/k_miyash/occ02/limovie_en.html)
- Trueblood, M. "In the Shadow", GPS World 4, 11, November 1993, pp. 22-30.
- Τσάμης, Β., "Μεθοδολογία, Εξοπλισμός, Προετοιμασία και Αποτελέσματα της Προσπάθειας Καταγραφής Συγκεκριμένων Γεγονότων Αποκρύψεων Αστέρων από Αστεροειδείς σε Βίντεο, κατά την Περίοδο 2005-2007", Τόμος Πρακτικών 4ου Π.Σ.Ε.Α., Πάτρα 2-2 Οκτ 2007, σελ 132-132.
- Tsamis, V. & Tigani, K.: "CCD Photometry of the occultation of star 2UCAC 33233154 by asteroid (511) Davida on May 7th 2010", Journal for Occultation Astronomy, Vol. 1, Nr. 1, December 2010 / January-March 2011.

### Software downloads

- Occult Software: <http://www.lunar-occultations.com/iota/occult4.htm>
- Occult Watcher Software: <http://www.hristopavlov.net/OccultWatcher/OccultWatcher.html>
- Scantracker, CCD drift scan technique: <http://users.bigpond.com/reedycrk/driftscantiming.htm>
- LiMovie: Program for analyzing videos of occultations:  
[http://www005.upp.so-net.ne.jp:80/k\\_miyash/occ02/limovie\\_en.html](http://www005.upp.so-net.ne.jp:80/k_miyash/occ02/limovie_en.html)

### Ιστοσελίδες Πρόβλεψης

- <http://www.iota-es.de/> IOTA/European Section
- <http://www.asteroidoccultations.com/> Steve Preston, IOTA
- <http://astrosurf.com/eaon/> (EAON)